

УДК 004.81

ПОДДЕРЖКА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПО УПРАВЛЕНИЮ КАЧЕСТВОМ ОБРАЗОВАНИЯ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКИХ КОГНИТИВНЫХ КАРТ СИЛОВА

Макарова Е.А., Закиева Е.Ш., Габдуллина Э.Р.

ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет», Уфа,
e-mail: gabdullina_er@mail.ru

В статье рассматриваются проблемы принятия решений по управлению качеством образования на основе нечетких когнитивных карт (НKK) В.Б. Силова. Проведен когнитивный анализ НKK качества образования с целью поддержки принятия решений по выбору наилучших путей достижения целевых показателей качества образования с точки зрения эффективного использования бюджетных средств. Построена матрица смежности, «двойная матрица» положительных связей, транзитивно замкнутая матрица взаимовлияния концептов, рассчитаны системные показатели НKK. Применен алгоритм В.Б. Силова для поиска путей по матрице взаимовлияния между концептами, выступающего в виде интеллектуального когнитивного агента; процедура поиска основывается на использовании макстриангулярной операции с нечеткими матрицами с использованием Т- и S-норм. Сформированы максимальные позитивные и негативные пути между управляющими и целевыми концептами НKK, которые рассматриваются как возможные пути использования бюджетных средств для улучшения качества образования. Приведен пример максимального позитивного и негативного путей между управляющими и целевыми концептами. Построенные пути являются основой для формирования цепочки нечетких правил вида «если – то» и могут использоваться для формирования рекомендаций по принятию решений при управлении качеством образования.

Ключевые слова: нечеткие когнитивные карты, качество образования, алгоритм Силова, пути перехода, интеллектуальный когнитивный агент

SUPPORT OF DECISION-MAKING ON QUALITY MANAGEMENT OF EDUCATION ON THE BASIS OF FUZZY COGNITIVE MAPS OF SILOV

Makarova E.A., Zakieva E.Sh., Gabdullina E.R.

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Ufa State Aviation Technical
University, Ufa, e-mail: gabdullina_er@mail.ru

The article deals with the problems of making decisions on the management of the quality of education based on fuzzy cognitive maps (FCM) of V.B. Silov. A cognitive analysis of the FCM quality of education was carried out to support decision making on choosing the best ways to achieve the target indicators of the quality of education from the point of view of the effective use of budgetary funds. An adjacency matrix, a «double matrix» of positive connections, a transitively closed concept interrelation matrix are constructed, system FCM indicators are calculated. The Silov's algorithm is used to search for paths by the interaction matrix between concepts, which acts as an intellectual cognitive agent; the search procedure is based on the use of a macro-angular operation with fuzzy matrices using T- and S-norms. Maximum positive and negative paths have been formed between the managers and the target concepts of the FCM, which are considered as possible scenarios for using budget funds to improve the quality of education. An example of the maximum positive and negative paths between management and target concepts is given. The constructed paths are the basis for the formation of a chain of fuzzy rules of the «if-that» kind and can be used to formulate recommendations for making decisions in the management of the quality of education.

Keywords: fuzzy cognitive maps, quality of education, Silov's algorithm, transition paths, intelligent cognitive agent

Проблема управления качеством образования как сложной слабоформализуемой системы связана с высоким темпом социальных, экономических процессов, изменяющихся требований рынка труда и т.д. Для принятия решений по управлению в условиях неопределённости может применяться универсальный инструментальный моделирования сложных систем – когнитивные карты (КК), которые задаются в виде ориентированного графа и содержат двухуровневые значения связей между концептами. Расширением традиционных КК является аппарат нечетких когнитивных карт (НKK), предложенных Б. Коско [1, 2],

в которых причинно-следственные связи между концептами находятся в диапазоне действительных чисел $[-1, 1]$.

Для поддержки принятия решений по управлению качеством образования применяется математический аппарат НKK В.Б. Силова [3], обеспечивающий комплексный анализ причинно-следственных связей между концептами и предназначенный для определения совокупного взаимовлияния концептов друг на друга с учётом прямого и опосредованного влияния. Когнитивный анализ необходим для принятия решений по выбору наилучших путей достижения целевых индикаторов ка-

чества образования и с целью повышения эффективности использования направленных на повышение качества образования бюджетных средств.

Материалы и методы исследования

На основе статистических данных, предоставленных Федеральной службой государственной статистики [4], о качестве образования в регионах РФ за 2015/2016 гг. разработана [5, 6] НКК качества образования (рис. 1). Когнитивная карта содержит концепты системы образования, разделенные на целевые, управляющие и промежуточные; оценка связей между концептами проведена методами статистического и интеллектуального анализа.

Целевыми концептами НКК качества образовательной системы являются: удельные веса трудоустроившихся выпускников образовательных организаций по программам бакалавриата (Y_1^0), высшего образования – специалитет, магистратура (Y_2^0); среднего профессионального образования (подготовка квалифицированных рабочих, служащих) (Y_3^0); среднего профессионального образования (подготовка специалистов среднего звена) (Y_4^0); удельный вес численности занятого населения в возрасте 25–65 лет, прошедшего повышение квалификации и (или) профессиональную подготовку (Y_5^0); удельный вес сектора учреждений высшего образования во внутренних затратах на исследования и разработки (Y_6^0).

Внутренние концепты НКК характеризуют: охват детей начальным общим, основным общим и средним общим образованием (7–17 лет) (P_1); охват молодежи образовательными программами среднего профессионального образования – программами подготовки квалифицированных рабочих, служащих (15–17 лет) (P_2), программами подготовки специалистов среднего

звена (15–19 лет) (P_3); охват молодежи образовательными программами высшего образования (17–25 лет) (P_4); численность аспирантов на 100 студентов (P_5); охват детей в возрасте от 5 до 18 лет программами дополнительного образования (P_6); численность лиц, обученных в организации по дополнительным профессиональным программам, на 10 тыс. человек (P_7), по программам повышения квалификации на 10 тыс. чел. (P_8), по программам профессиональной переподготовки на 10 тыс. чел. (P_9).

Управляющими концептами, направленными на повышение качества образования, являются объемы финансирования образовательных организаций (в тыс. руб./чел.): общий объем финансирования всех образовательных организаций, реализующих программы общего образования (U_1), объем финансирования образовательных организаций высшего образования (U_2); объем поступивших средств в среднее профессиональное образование (U_3).

В математическом виде НКК представляется в виде матрицы смежности $W = [w_{ij}]_{n \times n}$, элементы которой отмечают степень влияния концепта i на концепт j в диапазоне действительных чисел $[-1, 1]$ с учетом направления влияния. Дальнейший анализ НКК качества образования проводится по схеме алгоритма В.Б. Силова, показанной на рис. 2.

Результаты исследования и их обсуждение

Согласно схеме алгоритма анализа НКК качества образования на первом шаге формируется квадратная матрица смежности W , представленная в табл. 1. Размерность матрицы определена общим количеством концептов ($n = 18$); элементы матрицы представляют собой степень влияния концепта-причины, расположенного в строке, на концепт-следствие в столбце.

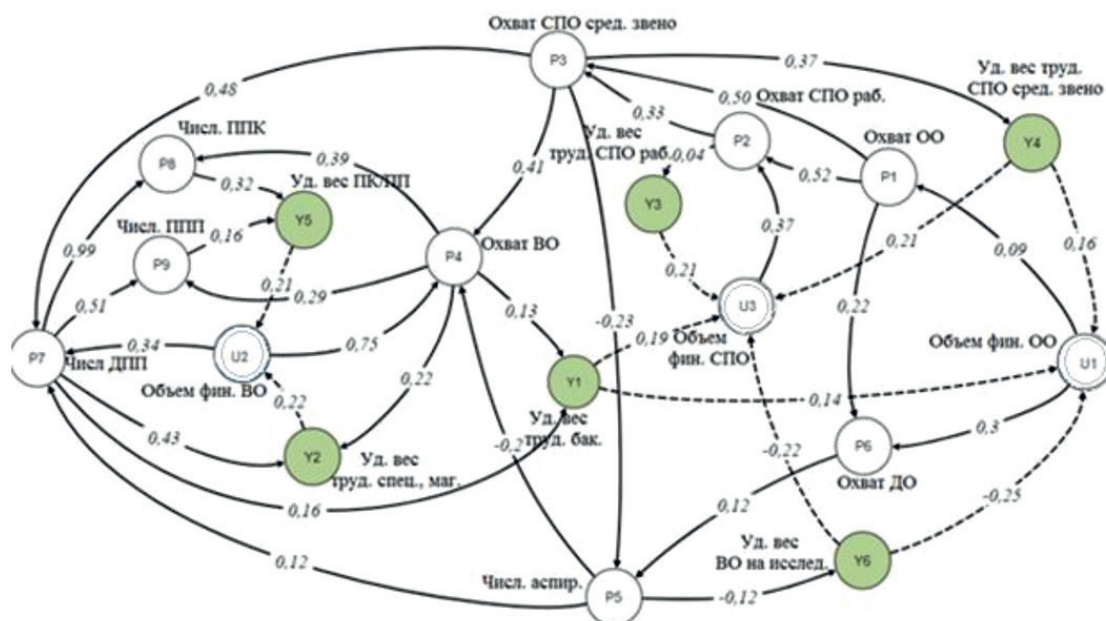


Рис. 1. Нечеткая когнитивная карта качества образования

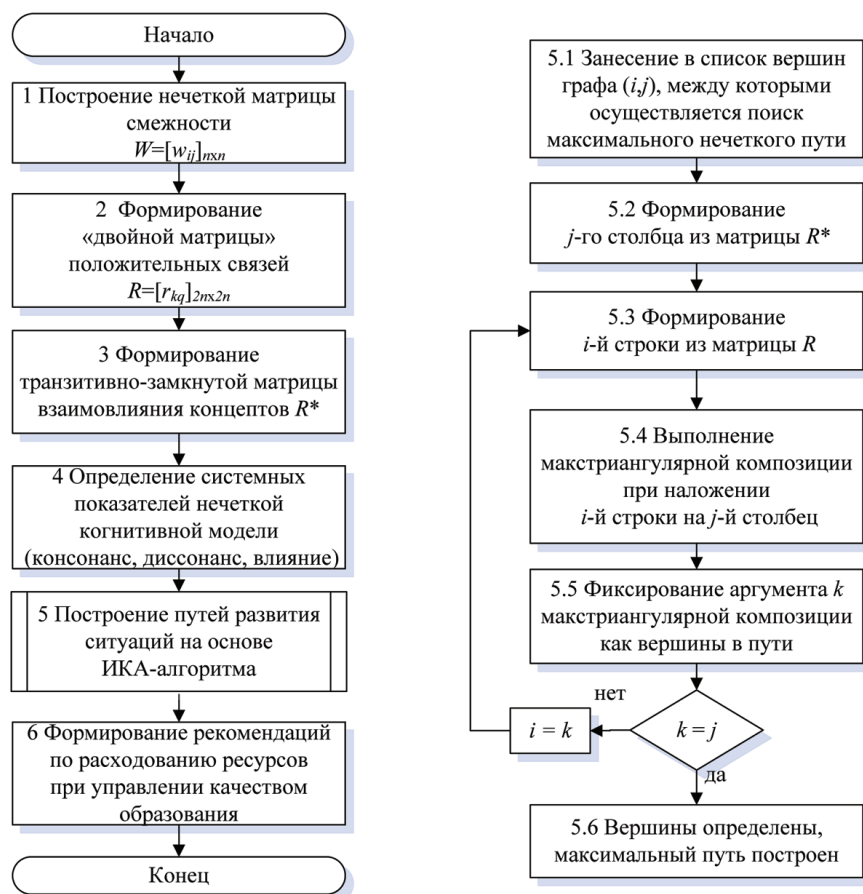


Рис. 2. Схема алгоритма проведения анализа нечеткой когнитивной модели

Таблица 1

W	U_1	U_2	U_3	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_7	P_8	P_9	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	Y_5	Y_6
U_1				0,09					0,3									
U_2							0,75			0,34								
U_3					0,37													
P_1					0,52	0,5			0,22				0,42	0,57	0,29	0,42	0,31	
P_2						0,33							0,27		0,04	0,26	0,19	
P_3							0,41	-0,23		0,48			0,34	0,55	0,31	0,37		
P_4											0,39	0,29	0,13	0,22	0,19	0,18	0,18	
P_5							-0,2			0,12								-0,12
P_6								0,12					0,24	0,29				
P_7											0,99	0,51	0,16	0,43	0,26	0,35		
P_8																	0,32	
P_9																	0,16	
Y_1	0,14	0	0,19															
Y_2	0,17	0,22	0,23															
Y_3		0,2	0,21															
Y_4	0,16	0,2	0,21															
Y_5		0,21																
Y_6	-0,25		-0,22															

На следующем шаге на основе матрицы смежности W формируется «двойная матрица» $R = [r_{ij}]_{2n \times 2n}$ положительных связей. Необходимость построения матрицы R обусловлена требованиями методов нечеткой алгебры – введением нечеткости в диапазоне действительных чисел $[0, 1]$ и связанной с исключением отрицательных элементов. Каждый элемент «двойной» матрицы определяется следующим образом: если соответствующий элемент матрицы смежности $w_{ij} > 0$, то $r_{2i-1, 2j-1} = w_{ij}$, $r_{2i, 2j} = w_{ij}$; если $w_{ij} < 0$, то $r_{2i-1, 2j} = -w_{ij}$, $r_{2i, 2j-1} = -w_{ij}$, в остальных случаях элементы матрицы R равны нулю. В табл. 2 представлен фрагмент «двойной матрицы» R , описывающей влияние промежуточных концептов НКК качества образования P_2, P_3, P_4, P_5 друг на друга; элементы матрицы смежности W расщепляются в R на две строки следующим образом: положительные элементы записываются по главной диагонали, например, $P_2 - P_3, P_2' - P_3'$, а отрицательные элементы – по побочной диагонали, например, $P_3 - P_2', P_3' - P_2$.

Для определения опосредованного влияния всех концептов НКК качества образования друг на друга строится транзитивно-замкнутая матрица взаимовлияний концептов $R^* = \bigvee_{l=1}^{\infty} R^l$, состоящая из положительно-отрицательных пар элементов, характеризующих максимальные положительные и отрицательные при-

чинно-следственные пути между всеми концептами [7]. Матрица взаимовлияний R^* формируется по специальному правилу преобразования: $(v_{ij}, \bar{v}_{ij})$: $v_{ij} = \max(r_{2i-1, 2j-1}, r_{2i, 2j})$, $\bar{v}_{ij} = -\max(r_{2i-1, 2j}, r_{2i, 2j-1})$. Построенная матрица взаимовлияний R^* позволяет определить согласованные отношения взаимовлияния всех концептов НКК качества образования, что может быть использовано для анализа динамики достижения заданных целей качества образования. Следует отметить, что для осуществления процедуры транзитивного замыкания требуется введение в НКК обратных связей по управлению, показанных на рис. 1 штриховыми линиями.

Фрагмент полученной замкнутой матрицы взаимовлияний R^* представлен в табл. 3, в которой показано, что, например, при росте объема финансирования общего образования U_2 несколько увеличивается целевой показатель качества образования Y_5 – удельный вес численности занятого населения в возрасте 25–65 лет, прошедшего повышение квалификации и (или) профессиональную подготовку и т.д. Дальнейший анализ матрицы R^* показал, что изменения вложенных бюджетных средств образовательных организаций, реализующих программы общего образования U_1 и среднего профессионального образования U_3 , не оказывают существенного влияния на целевые концепты, а рост вложений U_2 оказывает влияние на целевые концепты Y_1, Y_2, Y_5 .

Таблица 2

R	P_2	P_2'	P_3	P_3'	P_4	P_4'	P_5	P_5'
P_2	0	0	0,33	0	0	0	0	0
P_2'	0	0	0	0,33	0	0	0	0
P_3	0	0	0	0	0,41	0	0	0,23
P_3'	0	0	0	0	0	0,41	0,23	0
P_4	0	0	0	0	0	0	0	0
P_4'	0	0	0	0	0	0	0	0
P_5	0	0	0	0	0	0,2	0	0
P_5'	0	0	0	0	0,2	0	0	0

Таблица 3

R^*	Y_4		Y_5		Y_6	
U_1	0,01665	–0,00003	0,01349	–0,00123	0,00124	–0,00432
U_2	0,00166	0,00000	0,26386	–0,00005	0,00012	–0,00009
U_3	0,04518	–0,00005	0,03192	–0,00134	0,00337	–0,00003
P_1	0,18500	–0,00019	0,13071	–0,00640	0,01380	–0,00317
P_2	0,12210	–0,00013	0,08627	–0,00363	0,00911	–0,00008
P_3	0,37000	–0,00039	0,26142	–0,01100	0,02760	–0,00026
P_4	0,00142	0,00000	0,17120	–0,00004	0,00011	–0,00008

		p1		p2		p3	
Rmax		1	2	3	4	5	6
U1	1	0,0900	0,0000	0,0468	0,0002	0,0450	0,0001
	2	0,0000	0,0900	0,0002	0,0468	0,0001	0,0450
U2	3	0,0019	0,0000	0,0107	0,0000	0,0045	0,0000
	4	0,0000	0,0019	0,0000	0,0107	0,0000	0,0045
U3	5	0,0007	0,0001	0,3700	0,0003	0,1221	0,0001
	6	0,0001	0,0007	0,0003	0,3700	0,0001	0,1221

↑ столбец y

		p1		p2		p3	
R		1	2	3	4	5	6
U1	1	0,09	0	0	0	0	0
	2	0	0,09	0	0	0	0
U2	3	0	0	0	0	0	0
	4	0	0	0	0	0	0
U3	5	0	0	0,37	0	0	0
	6	0	0	0	0,37	0	0

← строка s

Рис. 3. Фрагмент процедуры извлечения номеров вершин в ИКА-алгоритме

По построенной матрице взаимовлияния можно провести расчет системных показателей НКК [5, 8]: интегральные показатели консонанса (диссонанса) влияния системы образования на концепт, консонанса (диссонанса) влияния концепта на систему, а также показатели, нормированные к сумме всего консонанса (диссонанса) системы. Анализ интегральных системных показателей НКК выявил высокий уровень консонанса, т.е. высокую степень согласованности концептов когнитивной модели, и низкую степень диссонанса.

Далее применяется алгоритм В.Б. Силова, необходимый для поиска путей по матрице взаимовлияния между концептами; данный алгоритм играет роль интеллектуального когнитивного агента (ИКА-алгоритм). Выявленные с помощью алгоритма пути между концептами рассматриваются как возможные пути использования бюджетных средств для улучшения качества образования и могут служить основой для формирования рекомендаций по принятию решений при управлении.

Согласно ИКА-алгоритму для определения максимального позитивного и негативного пути между концептами необходимо из построенной матрицы взаимовлияний R^* выделить (занести в список) номера вершин между концептами, для которых требуется найти максимальный «по весу» нечеткий путь. Для этого в матрице R^* фиксируется j -й столбец y , а в матрице R формируется i -я строка s . После этого значение аргумента макстриангулярной композиции вектора-строки s и вектора-столбца y нечетких матриц R^* и R фиксируется как вершина k в пути. Следует отметить, что макстриангулярные операции с нечеткими матрицами предполагают, что нечеткие значения выходных концептов рассчитываются с использованием характерных для нечеткой логики операций T - и S -норм над нечеткими

значениями входных концептов (например, с использованием правила *max-product*). Процесс поиска путей ИКА-алгоритмом продолжается до тех пор, пока фиксированная вершина k не совпадет с j -й вершиной. На рис. 3 приведен фрагмент процедуры извлечения номеров вершин путей с помощью ИКА-алгоритма.

ИКА-алгоритм позволяет построить пути развития ситуации при задании управляющих воздействий, необходимых для повышения качества образования. В качестве примера рассмотрим максимальные позитивный и негативный пути между концептами U_2 – «Объем финансирования образовательных организаций высшего образования, тыс. руб/чел.» на концепт Y_2 – «Удельный вес трудоустроившихся выпускников образовательных организаций по программе высшего образования – специалитет, магистратура»; по матрице взаимовлияний значения отношения между концептами U_2 и Y_2 соответствуют величинам (0,165; –0,00003). Позитивное влияние U_2 на Y_2 проходит по НКК через концепты (U_2, P_4, Y_2) : $U_2 \xrightarrow{0,75} P_4 \xrightarrow{0,22} Y_2$, т.е. управляющий концепт увеличивает промежуточный концепт P_4 «Охват молодежи образовательными программами высшего образования», что приводит к увеличению целевого концепта Y_2 . Негативное влияние концепта U_2 на Y_2 проходит по более протяженному маршруту $(X_2, P_4, Y_1, U_3, P_2, P_3, P_5, P_7, Y_2)$:

$X_2 \xrightarrow{0,75} P_4 \xrightarrow{0,13} Y_1 \xrightarrow{0,19} U_3 \xrightarrow{0,37} P_2 \xrightarrow{0,33} P_3 \xrightarrow{-0,23} P_5 \xrightarrow{0,12} P_7 \xrightarrow{0,43} Y_2$, в котором управляющий концепт U_2 , повышая промежуточный концепт P_4 , увеличивает один из целевых концептов Y_1 и вносит изменения в управляющий концепт U_3 ; увеличение управляющего концепта U_3 , в свою очередь, положительно влияет на состояние системы образования, так как увеличивает промежуточные концепты P_2, P_3 , но при этом происходит уменьшение концептов P_5 ,

P_7 , вследствие этого снижается и целевой концепт Y_2 – «Удельный вес трудоустроившихся выпускников образовательных организаций по программе высшего образования – специалитет, магистратура». Таким образом, проведение когнитивного анализа построенной НКК на основе алгоритма В.Б. Силова позволяет найти возможные пути влияния управляющих концептов на целевые концепты и сформировать рекомендации по расходованию бюджетных средств при управлении качеством образования.

Заключение

Проведен когнитивный анализ НКК качества образования на основе алгоритма В.Б. Силова; построены: матрица смежности, «двойная матрица» положительных связей, сформирована транзитивно замкнутая матрица взаимовлияния концептов НКК друг на друга, определены максимальные позитивные и негативные пути достижения целевых концептов из управляющих концептов. Построенные пути являются основой для формирования цепочки нечетких правил вида «если – то» и могут использоваться для формирования рекомендаций по принятию решений при управлении качеством образования.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 17-08-01155 А «Интеллектуальная поддержка принятия решений при управлении многоотраслевым производ-

ственным комплексом как многосвязным динамическим объектом на основе нейросетевого и имитационного моделирования».

Список литературы

1. Kosko B. Fuzzy cognitive maps. Int. Journal of Man-Machine Studies. 1986. Vol. 24. P. 65–75.
2. Борисов В.В., Круглов В.В., Федулов А.С. Нечеткие модели и сети. М.: Горячая линия-Телеком, 2007. 284 с.
3. Силос В.Б. Принятие стратегических решений в нечеткой обстановке. М.: ИНПРО-РЕС, 1995. 228 с.
4. Регионы России. Социально-экономические показатели // Информационно-аналитические материалы Федеральной службы государственной статистики, 2016 [Электронный ресурс]. URL: http://www.gks.ru/bgd/regl/b17_34/Main.htm (дата обращения: 20.11.2018).
5. Ильясов Б.Г., Закиева Е.Ш., Габдуллина Э.Р., Махмутова А.Э. Поддержка принятия решений при управлении качеством образования на основе нечеткого когнитивного моделирования // Труды VI Всероссийской конференции «Информационные технологии интеллектуальной поддержки принятия решений (ITIDS'2018)». Уфа, 2018. С. 112–117.
6. Макарова Е.А., Габдуллина Э.Р., Закиева Е.Ш. Регрессионный и кластерный анализ региональных производственных процессов // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. 2015. № 12. С. 78–83.
7. Черняховская Л.Р., Герасимова И.Б., Салаватова А.Р., Мухамедрахимова Л.Н. Оценка влияния социально-психологических факторов на качество подготовки студента с применением нечетких когнитивных карт // Вестник УГАТУ. 2014. Т. 18. № 4 (65). С. 134–141.
8. Васильев В.И., Савина И.А., Шарипова И.И. Построение нечетких когнитивных карт для анализа и управления информационными рисками вуза // Вестник УГАТУ. 2008. Т. 10. № 2 (27). С. 199–209.